汽车白车身预开孔FDS设备报警成因及优化

单颀俊，卢丽琴

万向智造有限公司　浙江杭州　310000

摘 要：随着时代的进步，汽车行业飞速地发展，汽车轻量化将成为未来汽车行业的主流发展方向。汽车白车身的材料不断更迭，高强度轻质材料的应用开始对传统连接技术发起挑战，FDS等新型连接方式也应运而生。以生产中常见的FDS设备故障出发，分析故障产生的原因及其应对方法，为故障的预防提供一定的参考。

关键词：轻量化；汽车制造；无铆连接；油箱箍带

DOI:10.16173/j.cnki.ame.2025.03.011

FDS（Flow Drill Screw）也称热熔自攻丝，是通过螺钉的高速旋转并在轴向压力作用下与连接板材摩擦生热，待板材产生塑性形变后自攻丝并螺接的冷成型工艺[1]。

FDS的工艺步骤如图1所示，一般分为以下六个步骤：①定位预热，②热熔穿透，③锥孔成型，④螺纹成型，⑤螺钉拧入，⑥紧固落座[2]。

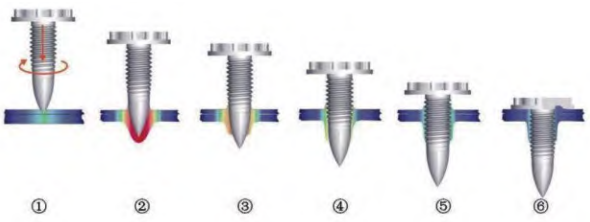


图1　FDS工艺步骤示意

FDS连接的优缺点

FDS作为一种新型连接工艺，相较于传统的点焊来说，在某些方面有着无可替代的优势。由于FDS连接形式为螺接，因此，FDS工艺可以实现包括超高强钢、铝镁合金、复合材料在内的异种材料的连接[3]；并且FDS无需受制于传统焊接的电阻热影响，可以轻松完成电阻焊难以实现的超厚板材间的连接。FDS单面进枪的优

势，使其可以在不开孔的情况下连接其他双面连接无法实现的封闭型腔结构；此外，FDS螺钉可拆卸的特点，使其可以方便返修[4]。

同时，任何工艺都存在自身的短板，由于单面施力，FDS连接点背面需要有高强度刚性支撑或需要板材自身拥有足够的强度。在连接完成后，螺钉的正反面均会有较大的凸起保留，在一定程度上会对车身设计及制造产生影响。在大量使用FDS工艺的情况下，螺钉的质量也会使白车身质量增加。此外，FDS设备成本远高于电阻点焊，螺钉的成本也高于廉价的焊点[5, 6]。

因此，FDS作为一种特殊工艺可以在特定的环境中大放异彩，同时因其弊端的存在，也无法在白车身上大规模使用。

FDS在汽车车身上的应用

FDS作为一种新型连接工艺在全铝车身及钢铝混合车身上应用广泛，国内外如奥迪、福特、特斯拉、小鹏以及蔚来等车企均有应用， 且主要应用在汽车车身纵梁、横梁等非外观件上[7]。

FDS的设备停机成因分析

FDS连接在实际生产中可能遇到各种频发问题，下文将以DEPRAG公司的FDS设备报警信息为例，并根据FDS工艺步骤划分各个报警产生的阶段，分析预开孔形式的FDS常见、频发报警的原因，以提供对预开孔FDS设备报警成因的分析及优化思路。

1.寻帽失败

寻帽失败是FDS最频发的问题之一，其可能有以下三种原因：

（1）螺钉尺寸错误、螺钉参数设置错误　FDS螺钉的尺寸对寻帽成功率有着巨大的影响，因此首先需要排查螺钉实际尺寸是否在图样公差范围内以及设备中输入的螺钉参数是否与实际尺寸有出入，尤其是涉及钉帽部分的尺寸。

（2）上层零件孔偏/未预开孔　发生此报警时需要查看该点位上层板是否存在孔偏/漏预开孔的情况。由于刀杆在轴向旋转寻帽的同时也在作径向进给运动，在螺钉即将顶到钣金件时寻帽阶段结束，此间会进行多次寻帽，若上层板孔偏或未开孔，刀杆还未到达寻帽行程终点时螺钉已接触钣金件，寻帽阶段提前结束，若此时仍未寻帽完成，便会触发报警。

（3）螺钉夹爪力不合适　左右夹爪对螺钉的夹紧力不合适亦会导致此报警发生。夹紧力过大时螺钉跟随刀杆运动时的阻力增大，螺钉花牙更不易与刀头花槽啮合；夹紧力过小时，螺钉在寻帽过程中夹爪的夹持力不足以稳定螺钉，易导致斜钉，导致寻帽失败。

2 热熔穿孔起始压力不足

（1）零件刚度不足　在定位预热时，设备会给予零件上层板800N的预压紧力，同时刀杆径向进给推动螺钉向上层板穿刺进行热熔穿透，穿透过程中将受到的力反馈于传感器，当零件刚度不足时，零件受刀杆进给时的压力变形，传感器接收到的力小于设定范围，触发报警。

（2）夹具支撑强度不足　当夹具支撑强度不足时，刀杆进给推动螺钉过程中由于夹具支撑力不足，夹具会在预压紧力及热熔穿透过程中产生的力的作用下产生位移，此时传感器接收到的力亦会小于设定范围，触发报警。

（3）溢胶进入钻孔区域　FDS通常会与涂胶工艺共同实施，结构胶由于其形成稳固胶层后使得接头呈现出高抗剪特性而被广泛使用于白车身焊装钣金连接[8]。在热熔穿透过程中，结构胶可发挥良好的缓冲润滑作用，降低工艺过程中的扭矩[9]。当溢胶进入转孔区域时，螺钉热熔穿透过程的阻力将极大减小，导致传感器接收到的力随之减小直至低于下限而触发报警。

3. 攻螺纹超时

攻螺纹超时报警是由于螺纹成形阶段用时超过设定时间，其时常伴有较大的异响，具体表现为在螺纹成型阶段刀头与钉帽无法良好啮合，产生相对运动以致滑牙。由于刀头螺牙磨损程度较螺钉更大，因此通常情况下需及时更换滑牙的刀头。此外，螺钉头部断裂也会导致此问题的发生，此时需排查标准件来件质量。

4. 拧紧超扭矩上限

拧紧超扭矩上限的直接原因是在螺纹成形阶段螺纹与上层钣金件剐蹭，导致力矩超过攻丝设定扭矩而

触发报警。而零件孔位偏差、机器人轨迹偏移都会导致上层钣金与螺纹剐蹭，因此零件预开孔孔位一致性及按时示教机器人轨迹对保证生产过程稳定性有着重大的意义。

5. 拧紧超时

拧紧超时报警可能存在以下两种情况。

（1）螺钉拧入中止　由此原因触发的报警时，可移开FDS设备后观察螺钉拧入情况，此时螺钉仅部分拧入。此报警与拧紧超扭矩上限发生原理类似，均为螺钉螺纹部分剐蹭上层钣金所致，但两者差异在于发生阶段不同。相较拧紧超扭矩上限报警，拧紧超时一般发生在螺钉拧入步骤，此时螺钉相较预开孔位置虽有一定偏差，但仍能完成攻丝步骤，而在螺钉拧紧时由于上层板的螺纹仅存在单侧，拧紧时螺钉受力不均且超过设定值而触发报警。

（2）螺钉螺牙损坏　螺钉螺牙损坏时，螺钉会跟随在刀杆行程终点旋转，而锁紧扭矩因滑牙而一直无法到达扭矩设定值下限，此过程将一直持续至超时，从而触发此报警。而此报警产生的原因有两点：一是螺钉螺纹在螺纹成型及螺钉拧入阶段发生损坏；二是螺钉螺纹来件损坏，而原因一则为其要因。

6. 拧紧超限

拧紧超上/下限指的是紧固落座阶段后位移传感器反馈出螺钉的位移超出设定范围，即螺钉落座过头或未落座到位。

（1）拧紧超上限　拧紧超上限报警触发时，螺钉已落座完成，但从外观看螺钉未完全落座到位。此时螺钉虽然与钣金存在一定剐蹭，但由于剐蹭量不大，使其避开了螺纹成形、螺钉拧入及紧固落座三个最可能触发报警的阶段，而在位移检测阶段被位移传感器识别。不难发现，此报警根本原因依然为机器人轨迹偏移或零件孔位偏差。

（2）拧紧超下限　拧紧超下限报警是由于螺钉在拧紧落座的过程中不断向下位移，直至位移超差触发报警。通过剖切报警部位，观察到螺钉与上层板贴合，而上下钣金存在贴合及未贴合两种状态。由于此报警基本出现在固定点位，结合现场情况，原因锁定为夹具支撑强度不足及零件上下板间隙过大。而其差异在于，因夹具支撑强度不足而引发的报警会使上下层钣金同时向下位移，剖切面中上下钣金处于贴合状态；而零件上下板间隙过大时，压板的设定压力无法将上下板压贴合[10]，剖切面中上下钣金处于未贴合状态。

7. 检测到负角度

负角度通常会在拧紧落座时产生，由于落座阶段刀杆转速由300r/min降至0，设备需在短时间内施以反向扭矩减速，若减速的时间点过于接近减速终点，电动机将无法及时制动，导致刀杆反转，引发设备报警。因此因先排查减速切换点是否设置过于靠后，可适当调整切换点至70%～80%进行验证。此外，若落座阶段刀杆扭矩过大也会导致减速时需要一个更大的扭矩，此时，可拆卸该处螺钉查看螺钉是否与预开孔蹭边，同时排查蹭边原因。

报警优化

根据统计信息，当月停机时间共计706min，由螺钉与上层板剐蹭因素导致的报警占报警总数的72.77%，螺钉的剐蹭频次与报警次数具有高度正相关性。由此结论进行针对性改善，通过提高机器人示教次数，并结合调试需求开发出FDS对正装置[11]提升示教时螺钉与上层板预开孔对中精度，减少了剐蹭的发生频次。改善后，当月报警停机时间降至337min，相较改善前降低52.27%。另一方面，由于提高了示教频次，改善当月机器人示教停机时间增加106min，最终整体故障停机时间443min，相较改善前降低37.25%，见表1。

结语

在各项参数固化后，FDS设备报警主要产生原因为螺钉与上层板剐蹭，通过提高机器人示教频次可有效降低停机时间；而继续提高机器人示教频次可进一步减少报警停机时间，但由示教时间增加而引发的停机时间亦会同步上升，需根据各现场报警停机时间及示教停机时间进行动态的平衡取舍，以达到降低整体停线时间的目的。

表1　某前纵梁轮罩总成生产线一个月报警信息统计表

	故障名称	寻帽失败	热熔穿孔起始压力不足	攻螺纹超时	拧紧超扭矩上限	拧紧超时	拧紧超上/下限	检测到负角度
改善前	故障次数	97	15	12	35	27	9	18
	故障停机时间/min	214	47	58	188	106	23	70
改善后	故障次数	46	12	11	14	11	3	7
	故障停机时间/min	107	30	50	72	42	10	26

参考文献：

[1] 赵广力，王壮.铝车身热熔自攻丝技术连接工艺浅析[J].汽车工艺师，2020（6）：23-27.

[2] 张逸，仝辉，王知，等.浅谈汽车白车身FDS连接工艺技术要求[J].汽车工艺师，2023（6）：35-39.

[3] 韩秋生，姚庆泰，王子国，等.汽车轻量化机械连接工艺技术研究[J].汽车工艺与材料，2024（9）：7-11.

[4] 戚才人，杨磊，李磊，等.铝车身自动冷连接技术的柔性应用[J].汽车工艺与材料，2023（4）：24-28.

[5] 刘蒙，郭常梅.浅谈连接技术在汽车轻量化上的应用[J].内燃机与配件，2024（8）：115-117.

[6] 李成瑶，余颖舜，钟远婷，等.刍议汽车铝车身的主要连接技术[J].汽车维护与修理，2024（4）：64-68.

[7] 于子秋.汽车车身铝合金连接工艺研究[J].汽车工艺师，2021（5）：59-64.

[8] 林巨广，胡陈林，徐群龙.开孔与结构胶对热熔自攻丝接头连接质量的影响[J].合肥工业大学学报（自然科学版），2022（6）：721-725.

[9] 王健强，顾延巩，高朗，等.结构胶对钢铝热融自攻丝工艺的影响研究[J].组合机床与自动化加工技术，2019（12）：111-113.

[10] 林巨广，段德宇，顾延巩.原始间隙对热熔自攻丝接头质量的影响[J].机床与液压，2021（8）：38-41.

[11] 单颀俊，卢丽琴，王文志，吴越，陈佳佳.一种针对预开孔的FDS对正装置[P].ZL 2023 2 1296370.5.2023-10-27.

（上接第30页）

试验的结果，无铆连接工艺在油箱箍带连接场景下具有较好的应用可行性，无铆连接可充分发挥其无热量输入、高动态连接强度的优势，应对电阻点焊箍带疲劳开裂的问题。

参考文献：

[1] 张林阳. 全铝及钢-铝混合车身轻量化连接技术[J]. 汽车工艺与材料，2018（7）：1-8，14.

[2] 李文忠，刘春柏等. 浅析大众和丰田铝件连接技术路线[J]. 汽车工艺与材料，2023（2）：53-57.

[3] 孙然. 基于材料轻量化的商用汽车驾驶室CAE分析与建模[J]. 红河学院学报，2021（5）：147-150.

[4] 王晓伟等. 轻量化材料在商用车驾驶室上的应用[J]. 重型汽车，2019（1）：31-33.

[5] 李永兵等. 轻量化薄壁结构点连接技术研究进展[J]. 机械工程学报，2020（6）：125-146.

[6] 王子国，蔡金生. 电阻点焊与TOX连接技术的对比试验[J]. 电焊机，2010（5）：65-69.